

KIELER MEERESFORSCHUNGEN

Institut für Meereskunde der Universität Kiel

Herausgegeben von G. DIETRICH

unter Mitwirkung von

A. REMANE und E. SCHULZ (Zoologisches Institut),
F. DEFANT, F. GESSNER, K. KÄNDLER, J. KREY, C. SCHLIEPER
und G. WÜST (Institut für Meereskunde)

Band XVII

1961

Heft 2

Sonderdruck S. 148—153

Über die kurzfristige Veränderlichkeit von Temperatur- und
Salzgehaltsschichtung in der östlichen und mittleren Ostsee
im Sommer 1960

VON GEROLD SIEDLER

Kommissionsverlag Walter G. Mührlau, Kiel

Über die kurzfristige Veränderlichkeit von Temperatur- und Salzgehaltsschichtung in der östlichen und mittleren Ostsee im Sommer 1960

VON GEROLD SIEDLER

Zusammenfassung: Im August 1960 wurde auf vier Ankerstationen des Forschungskutters „Hermann Wattenberg“ die vertikale Verteilung der Temperatur und der elektrischen Leitfähigkeit mittels der Bathysonde über 7—11 Stunden in halbstündigen Abständen registriert. Nach einer Beschreibung des Meßverfahrens werden die Ergebnisse an Hand der Temperaturregistrierungen und der Isoplethen von Temperatur und Salzgehalt hinsichtlich Art und Größe der Änderungen diskutiert. Abschließend werden die Auswirkungen auf die Deutung eines hydrographischen Schnitts durch die westliche Ostsee dargestellt.

On the short-term variations of temperature and salinity stratification in the Eastern and Central Baltic in summer 1960 (Summary): In August 1960, the vertical distribution of temperature and electrical conductivity from surface to bottom was recorded for 7—11 hours at half-hourly intervals during four anchoring stations of research cutter „Hermann Wattenberg“ by means of a so-called bathysonde (records temperature, salinity, and pressure). After a description of the method of measurement, the results are discussed on the basis of the temperature records and the thermal and haline isopleths. Finally the consequences for the interpretation of a hydrographical section through the western Baltic are shown.

Einleitung

Messungen der physikalischen Parameter des Meerwassers in einem bestimmten Seegebiet dienen im allgemeinen zunächst dem Zweck, einen Überblick über die mittleren hydrographischen Verhältnisse ohne Berücksichtigung zeitlicher Änderungen zu gewinnen. Der nächste Schritt führt dann zur Untersuchung langzeitiger, vor allem jahreszeitlicher Variationen, die sich durch Punktmessungen feststellen lassen, sofern das Gebiet genügend klein gewählt wird, um den zeitlichen Abstand zwischen den Messungen nicht größer als jeweils einige Wochen werden zu lassen. Dies gilt natürlich nur in den Meeresgebieten, in denen die räumlichen bzw. die langzeitigen Schwankungen erheblich größer als die kurzzeitigen sind. In einem Randmeer wie der Ostsee zeigt sich, daß die Schwankungen an manchen Stellen bereits innerhalb von 24 Stunden so groß sind, daß es zum Verständnis der auftretenden Vorgänge erforderlich erscheint, die zeitliche Veränderlichkeit in Abständen von weniger als einer Stunde zu messen (vgl. I. HELA u. W. KRAUSS 1959, K. KALLE 1942, 1943, 1953). Hierfür ist eine einwandfreie Trennung der räumlichen und zeitlichen Koordinaten nötig, die sich exakt nur auf Dauerstationen durchführen läßt, bei denen die horizontalen Raumkoordinaten weitgehend unverändert bleiben und die vertikale Koordinate bei rasch aufeinanderfolgenden Messungen mit hoher relativer Genauigkeit zu bestimmen ist. Man erhält damit gleichzeitig ein Kriterium für die Genauigkeitsforderungen, die bei der Messung verschiedener physikalischer Parameter während der sich über mehrere Tage oder Wochen erstreckenden „quasisynoptischen“ Untersuchungen in den einzelnen Bereichen der Ostsee sinnvoll sind.

Eine Forschungsfahrt von F. K. „Hermann Wattenberg“, die im Sommer 1960 in die mittlere und östliche Ostsee führte und die unter Leitung von G. DIETRICH (1961) stand, diente der Untersuchung solcher kurzfristigen Schwankungen physikalischer und

chemischer Faktoren. Insgesamt wurden vier Ankerstationen durchgeführt, deren Ergebnisse hier vorgelegt werden.

Meßtechnik

Bei der komplizierten Struktur der Temperaturschichtung, die man während des Sommers an vielen Stellen der Ostsee findet, ist es notwendig, möglichst ein stetig registrierendes Meßgerät zu verwenden, da eine punktweise Messung infolge der vor allem in der Sprungschicht auftretenden hohen Gradienten nur eine grobe Näherung an die tatsächlichen Verhältnisse liefern kann. Ferner müssen die durch das Schiff verursachten Bewegungen des Meßgerätes in der Vertikalen durch ein entsprechend rasch reagierendes Meßelement und eine direkt in Abhängigkeit von der Tiefe — nicht der Fierlänge — durchgeführte Registrierung eliminiert werden.

Als zweckmäßigste Meßeinrichtung hierfür bot sich eine Kombination der von H. HINKELMANN (1956, 1957, 1958) entwickelten Bathysonde mit einem X_1X_2Y -Schreiber an. Die für diese Messungen benutzte Bathysonde wird seit dem Jahre 1958 vom Institut für Meereskunde der Universität Kiel in der Ostsee eingesetzt (W. KRAUSS, 1959) und liefert eine gleichzeitige stetige Anzeige von Temperatur, Leitfähigkeit und Druck. In diesem Falle wurden nun auf einem Honeywell-Doppelfunktions-Schreiber die Temperatur und die Leitfähigkeit direkt in Abhängigkeit vom Druck, also der Tiefe, registriert. Da die Zeitkonstante des Thermometers 0,4 sec beträgt und die der Leitfähigkeitssonde um mehrere Größenordnungen darunter liegt und da die Einstellzeit des Kompensations-schreibers für die relativ kleinen durch Seegangstörungen hervorgerufenen Ausschläge unter 1 sec liegt, lassen sich die oben aufgestellten Forderungen erfüllen.

Die Messungen wurden in folgender Weise durchgeführt: Auf vier Stationen wurde über eine Gesamtdauer von 7 bis 11 Stunden im Abstand von je etwa einer halben Stunde beim Wegfieren des Tauchgerätes registriert, während in der Zwischenzeit in einstündigem Abstand Serienmessungen mit Kippthermometern stattfanden. Die Serienmessungen dienten neben der Gewinnung chemischer Daten aus Wasserproben, deren Ergebnisse von O. E. JACOB (1961) im gleichen Heft beschrieben sind, dem Zweck, Eichkurven für die Bathysonde zu erhalten, da vor Beginn der Untersuchungen keine labormäßigen Eichungen vorlagen. Zur Eichung wurden nur diejenigen Werte der Temperatur und des Salzgehalts benutzt, die aus Tiefen mit geringer vertikaler Variation des Meßwertes stammten, um Fehlermöglichkeiten aus Abweichungen in der Tiefenangabe beim Vergleich der beiden Meßverfahren so gering wie möglich zu halten. Wie man aus den Bathysondenregistrierungen erkennt, ist es in diesen Bereichen infolge der langsamen, stetigen Änderungen gestattet, durch lineare zeitliche Interpolation von den Kippwasserschöpfer- zu den Bathysondenwerten überzugehen. Beim Vergleich der aus den damit konstruierten Eichkurven erhaltenen Werte mit den Kippthermometerwerten ergeben sich Differenzen von $\Delta t \leq 0,3^\circ \text{C}$ (Temperatur) und $\Delta S \leq 0,4 \text{‰}$ (Salzgehalt) in den Tiefenbereichen mit wenig schwankenden Temperatur- bzw. Salzgehaltswerten, hingegen Abweichungen bis $\Delta t = +3,0$ bzw. $-1,0^\circ \text{C}$ und $\Delta S = +0,5$ bzw. $-0,7 \text{‰}$ in den Bereichen mit starken Änderungen, die offenbar weitgehend durch fehlende Übereinstimmung in der Tiefenangabe entstanden sind. Für die Betrachtung der zeitlichen Variationen kann man also, wenn man nur die Bathysondenregistrierung benutzt, mit einer relativen Genauigkeit von $\pm 0,3^\circ \text{C}$ bzw. $\pm 0,4 \text{‰}$ S rechnen. Die Empfindlichkeit der Apparatur ist um etwa eine Größenordnung besser. Die genannte Genauigkeit ist für unsere Zwecke im Hinblick auf die Temperaturschichtung im großen und ganzen ausreichend, während die erhaltenen Haloisoplethendarstellungen nur als relativ grobe Näherungen an den tatsächlichen Sachverhalt zu betrachten sind.

Ergebnisse

Die erste Dauerstation A wurde im Finnischen Meerbusen auf $59^{\circ} 57,5'N$ und $25^{\circ} 02,1' E$ von 15,45 bis 22,45 Uhr OEZ am 6. 8. 60 durchgeführt. Ein anschauliches Bild von den kurzzeitigen Änderungen bei Station A vermittelt die graphische Darstellung der Registrierungen der Temperatur in Abhängigkeit von der Tiefe mit der Zeit als Parameter. In Abb. 1 erkennt man links oben die — bei niedrigen Temperaturen nichtlineare — Temperaturskala, die zur Ablesung entsprechend dem zeitlichen Abstand nach rechts jeweils zur nächsten 18° -Linie verschoben zu denken ist. Zwei Tatsachen sind bei den Messungen Nr. 1 bis 6 zunächst bemerkenswert. Einmal zeigt sich deutlich, daß die Homothermie in der warmen Deckschicht bis 20 m Tiefe gestört ist, wobei die Änderungen von maximal etwa $0,4^{\circ} C$ offensichtlich so rasch vor sich gehen, daß an manchen Stellen eine Zuordnung der Schwankungen von Kurve zu Kurve trotz des nur halbstündigen Meßabstandes nicht mehr möglich ist. Zum anderen erkennt man, daß sich in etwa 23 m Tiefe eine warme Zwischenschicht gebildet hat, die den Temperaturabfall der eigentlichen Sprungschicht unterbricht. Leider mußten die Messungen Nr. 7 bis 9 ausfallen, die einen Teil des Überganges von der bei Tage aufgetretenen Temperaturschichtung zum nächtlichen Ausgleich gezeigt hätten. Wir sehen, daß sich die Temperaturdifferenzen in der Deckschicht in dieser Zwischenzeit vollständig ausgeglichen haben, und daß auch die warme Schicht bei 23 m Tiefe mittlerweile in gewissem Maße abgebaut wurde. Sie ist nur noch erkennbar in einem Maximum des Gradienten, das sich von Messung zu Messung immer weiter verringert. Andererseits zeigt sich ein weiteres Maximum des Temperaturgradienten etwa 5 m tiefer, das bei Messung Nr. 6 erstmals auftaucht und dann abnehmend bis zur Messung Nr. 15 verfolgt werden kann. Es ist zu vermuten, daß es sich bei diesen Variationen um einen tageszeitlichen, infolge der ruhigen Wetterlage mit schwachen ablandigen Winden nur wenig wetterbeeinflussten Vorgang handelt.

Zum Vergleich sind in Abb. 2 die Thermoisoplethen wiedergegeben. Man erkennt, wie notwendig eine direkte Darstellung der Registrierungen entsprechend Abb. 1 ist, um die oben besprochenen Vorgänge zu verdeutlichen. Das Isoplethenbild kann die für uns hier interessanten kurzzeitigen Schwankungen bei dem großen Temperaturgesamtbereich nicht wiedergeben. Andererseits ist es natürlich besser dazu geeignet, den Abfall der Temperatur in dem Gebiet hoher Gradienten zwischen 25 und 40 m zu zeigen

Legenden zu den nebenstehenden Abbildungen. (Tafel 1)

Abb. 1: Station A; Temperaturregistrierungen

Abb. 2: Station A; Thermoisoplethen

Legende zu der nebenstehenden Abbildung (Tafel 2)

Abb. 3: Station B; Temperaturregistrierungen

Legende zu der nebenstehenden Abbildung (Tafel 3)

Abb. 4: Station B; Thermoisoplethen

Legenden zu den nebenstehenden Abbildungen (Tafel 4)

Abb. 5: Station C; Temperaturregistrierungen

Abb. 6: Station C; Thermoisoplethen

Legenden zu den nebenstehenden Abbildungen (Tafel 5)

Abb. 7: Station D; Temperaturregistrierungen

Abb. 8: Station D; Thermoisoplethen

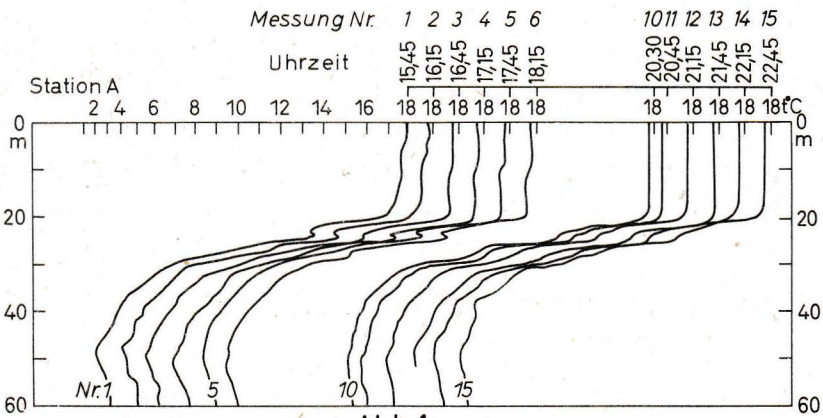


Abb. 1

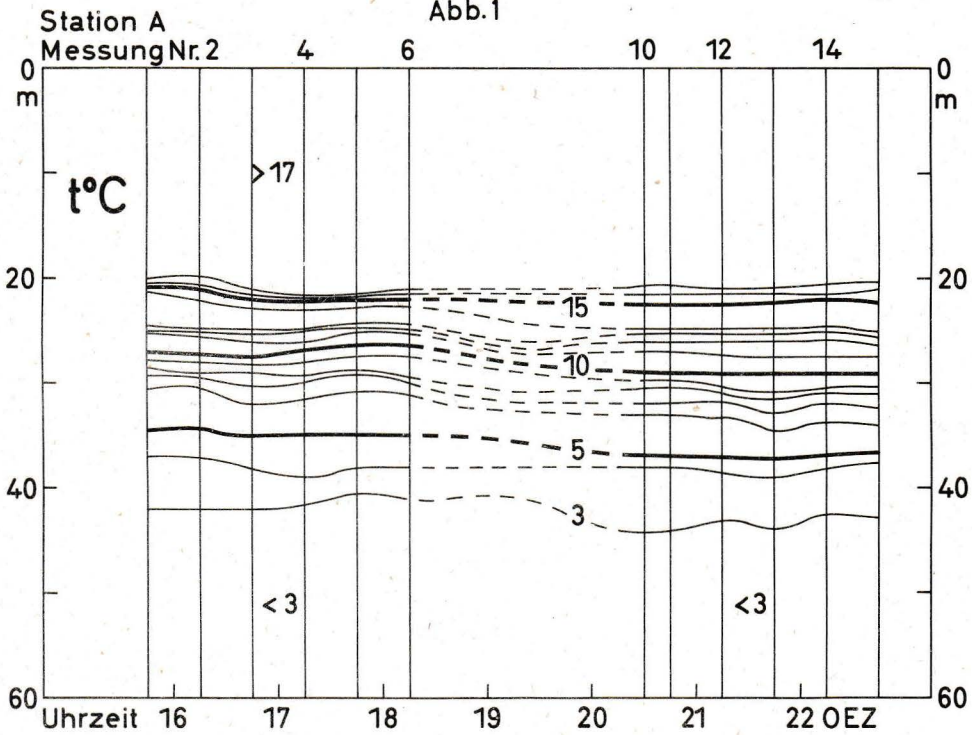
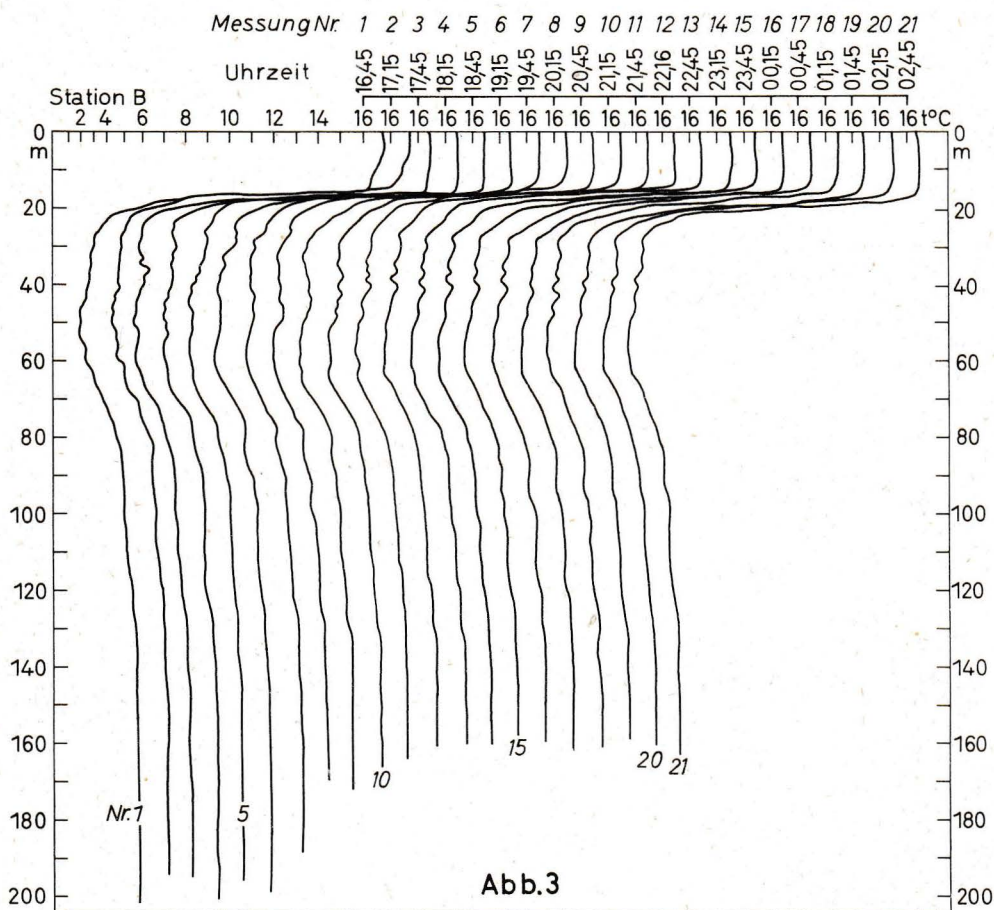


Abb. 2



Tafel 2 (zu G. Siedler)

Station B
Messung Nr. 2

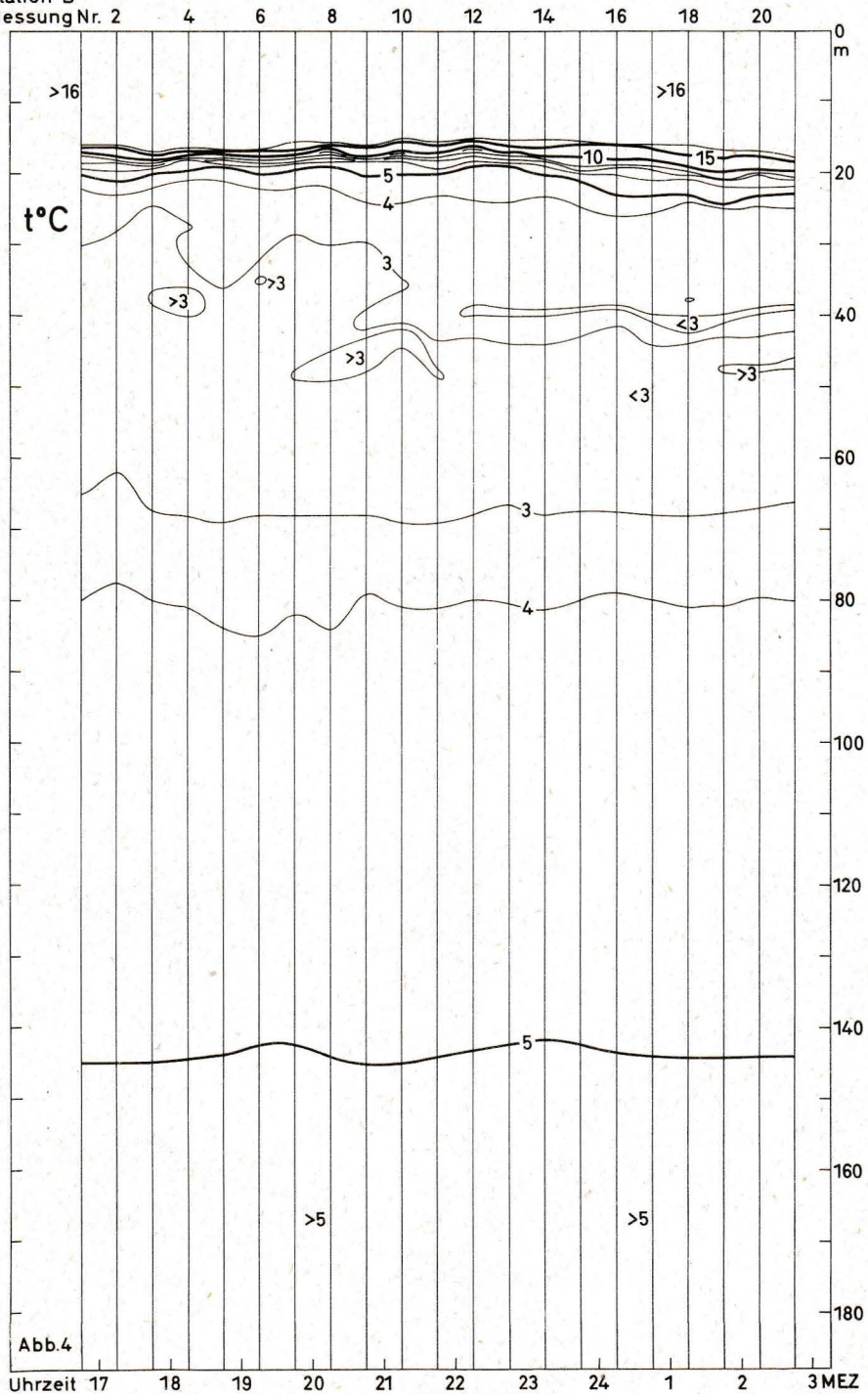
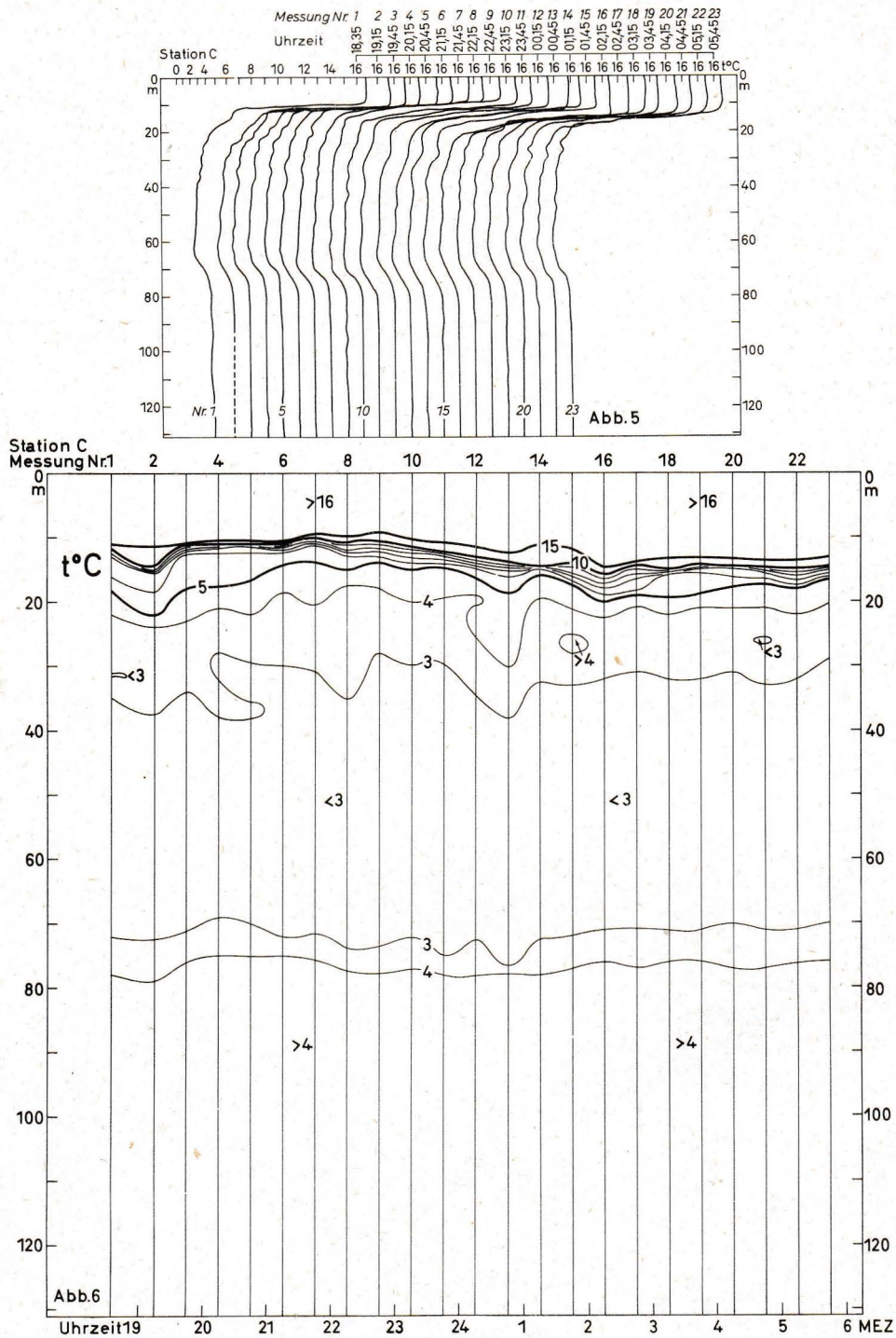
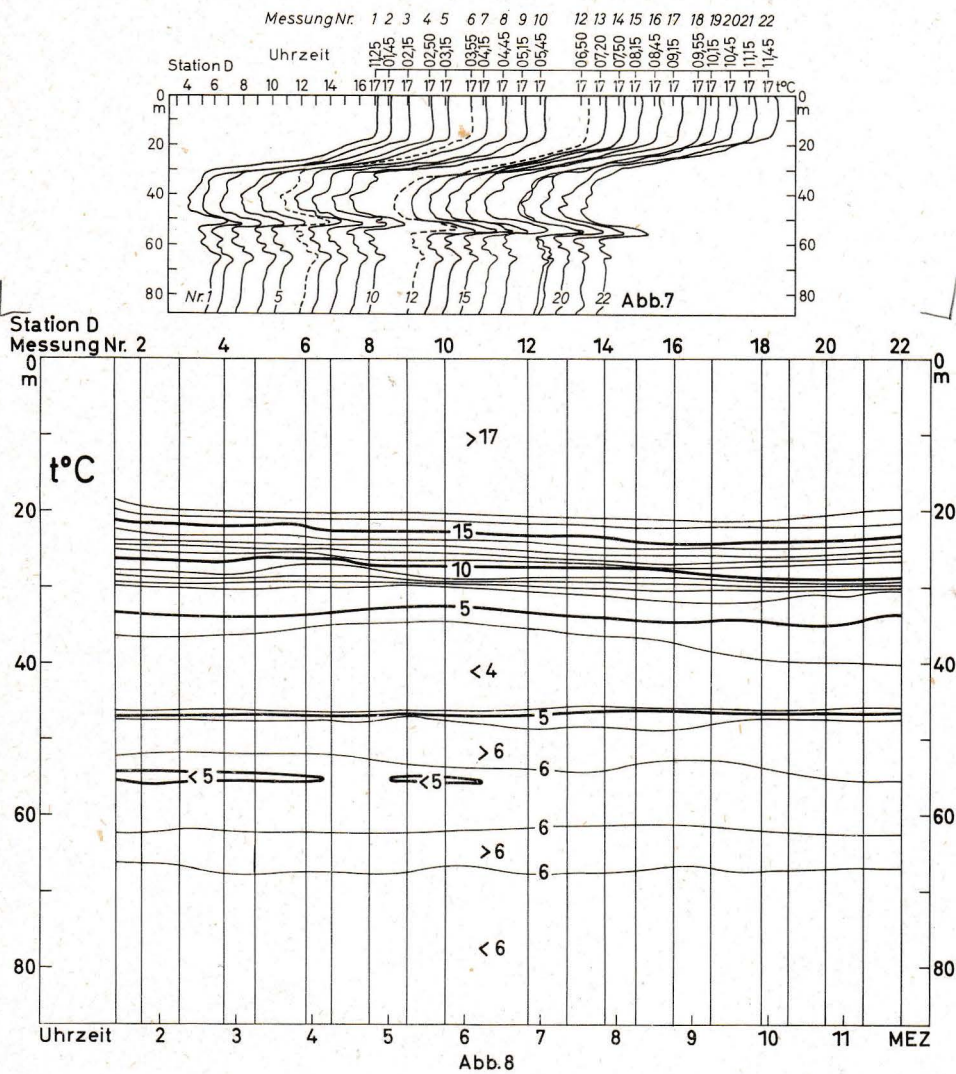


Abb.4

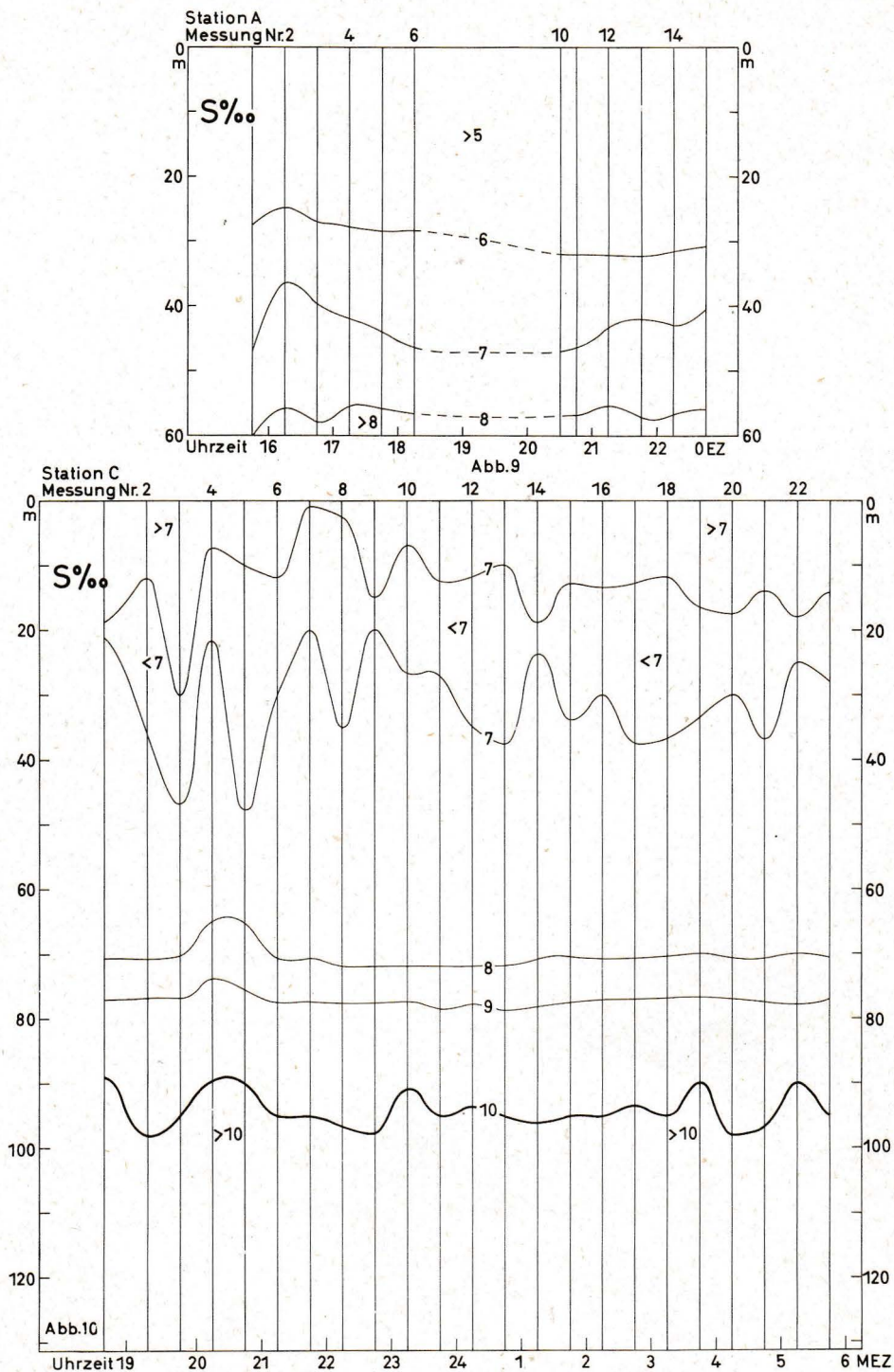
Tafel 3 (zu G. Siedler)



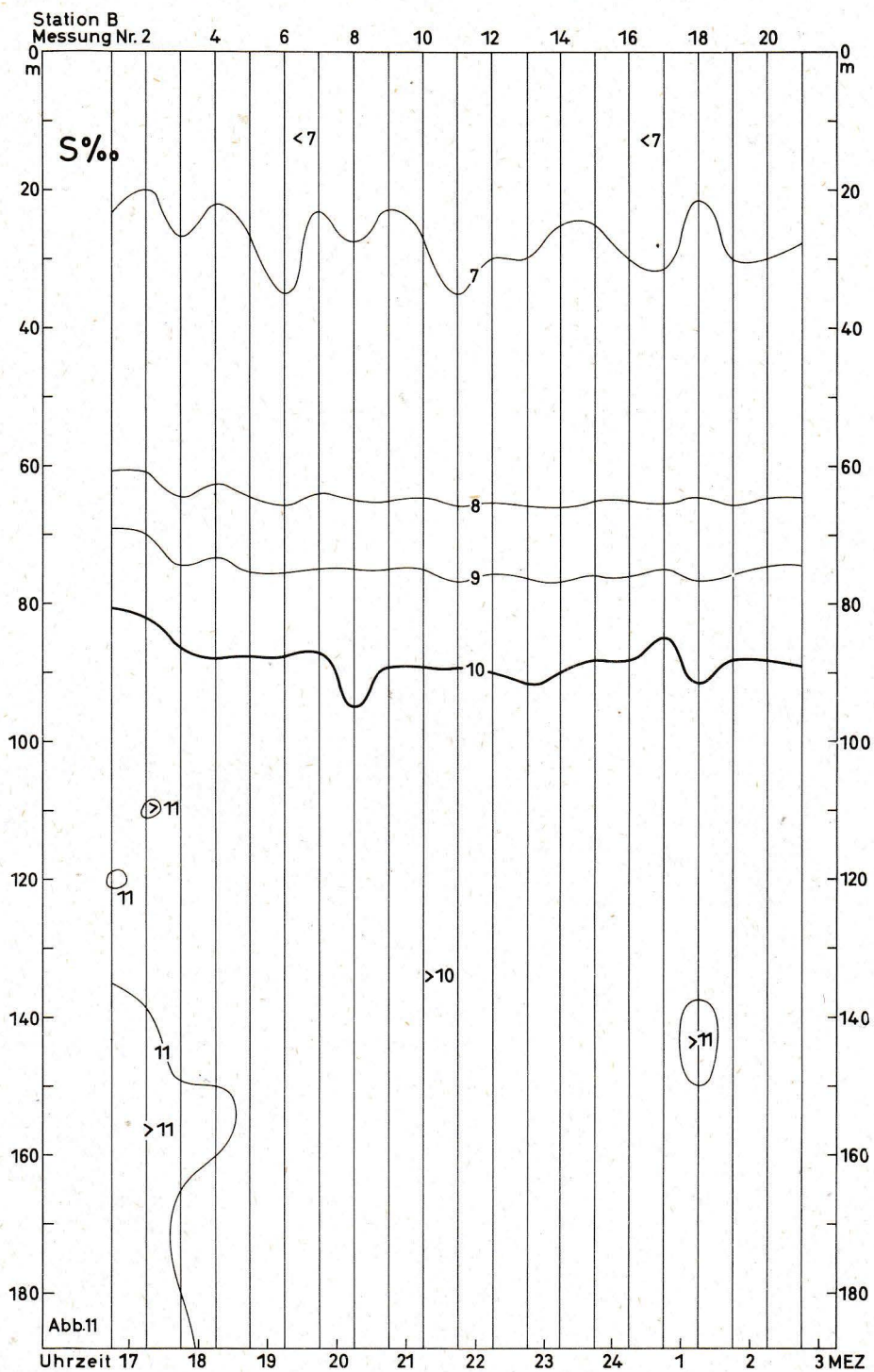
Tafel 4 (zu G. Siedler)



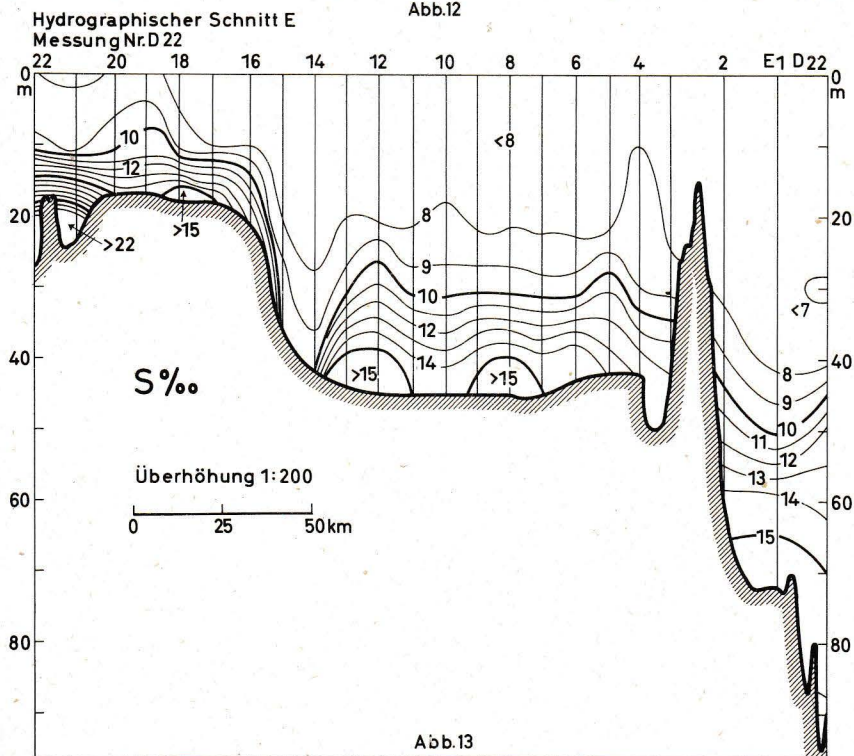
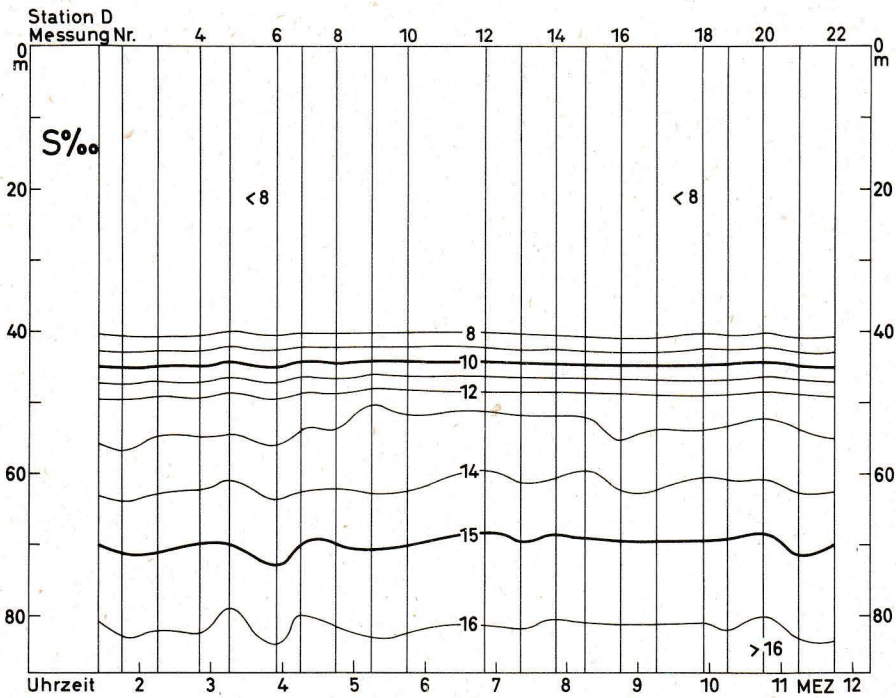
Tafel 5 (zu G. Siedler)



Tafel 6 (zu G. Siedler)



Tafel 7 (zu G. Siedler)



Tafel 8 (zu G. Siedler)

Schnitt E

Messung Nr. E22 20 18 16 14 12 10 8 6 4 2 E1 D22

S

0 4 6 8 10 12 14 16 17 17 17 17 17 17 17 17 17 17 17 17 17 17 17 17 17 17 17 17 17 17 17

Tafel 9 (zu G. Siedler)

Abb.14

Abb. 9 gibt das Isoplethenbild des Salzgehalts wieder, wobei die Größe der dargestellten Schwankungen entsprechend den zu Beginn angestellten Genauigkeitsbetrachtungen zu beurteilen ist.

Station B lag in der östlichen Gotlandsee auf $59^{\circ} 02' N$ und $20^{\circ} 09'$ bis $21^{\circ} 05' E$ vom 7. bis 8. 8. 60 in der Zeit von 16,45 bis 2,45 Uhr MEZ. Bei dieser Station interessierte vor allem die Frage, in welchem Maße man berechtigt ist, von einem Fehlen kurzzeitiger Schwankungserscheinungen in dieser für die Verhältnisse der Ostsee großen Tiefe zu sprechen. Erschwert wird eine Aussage hierüber dadurch, daß das Schiff auf dieser Ankerstation langsam vertrieb und daher die Trennung von örtlicher und zeitlicher Koordinate nicht vollständig möglich war. Die unteren Endpunkte der Registrierungen in Abb. 3 geben in etwa die jeweilige Wassertiefe an. Man findet in den Temperaturregistrierungen der großen Tiefen Schwankungen von mehreren Zehntel $^{\circ}C$, die entweder durch Vertreiben des Schiffes um wenige hundert Meter oder infolge zeitlicher Änderungen auftreten. Wir erhalten damit, obwohl wir die Größen der einzelnen Faktoren nicht erkennen, eine Angabe über die erforderliche Genauigkeit bei mitteln den Messungen.

Sehr bemerkenswert bei den Registrierungen auf Station B (Abb. 3) ist die zu beobachtende schnelle Um- und Neubildung von Inversionen in der kalten Schicht zwischen 20 und 60 m Wassertiefe. Im allgemeinen läßt sich eine solche gegenüber der Umgebung um $0,1$ bis $0,4^{\circ}C$ wärmere Schicht mit einer Dicke von $1-20$ m über eine größere Zahl von Messungen hin verfolgen. Es handelt sich also um Vorgänge, die sich über mehrere Stunden erstrecken. Andererseits findet man aber auch Schwankungen beachtlicher Größe, wie z. B. bei Messung Nr. 3 in 35 m Tiefe, die nur einmal auftreten und somit in den Bereich der thermischen Unruhe des Meeres gehören. Man hat hier einen deutlichen Hinweis auf den stetigen Übergang vom Bereich sehr kurzer zum Bereich langzeitiger Schwankungen der Temperatur im Meer.

Das Thermoisoplethenbild der Abb. 4 gibt eine Übersicht über die Gesamtschichtung. Da die kalte Zwischenschicht ziemlich genau bei $3^{\circ}C$ liegt, gibt die 3° -Isoplethe in diesem Falle auch ein gutes Bild der kurzzeitigen Schwankungserscheinungen. Bemerkenswert an dem Verlauf der Haloisoplethen der Abb. 11 sind die beträchtlichen Schwankungen des Salzgehalts in der Nähe der Sprungschicht.

Station C lag auf $58^{\circ} 06,7'$ bis $58^{\circ} 06,5' N$ und $18^{\circ} 14,5'$ bis $18^{\circ} 13,0' E$, also in der westlichen Gotlandsee, am 8. und 9. 8. 60 von 18,35 bis 5,45 Uhr MEZ. Hier zeigte sich im Gegensatz zu Station B eine weitgehende Homothermie in der salzreichen Bodenschicht ab 80 m Tiefe, die nur gelegentlich durch jeweils nur bei einer einzigen Messung auftretende

Legenden zu den nebenstehenden Abbildungen (Tafel 6)

Abb. 9: Station A; Haloisoplethen

Abb. 10: Station C; Haloisoplethen

Legende zu der nebenstehenden Abbildung (Tafel 7)

Abb. 11: Station B; Haloisoplethen

Legenden zu den nebenstehenden Abbildungen (Tafel 8)

Abb. 12: Station D; Haloisoplethen

Abb. 13: Schnitt E; Isohalinen

Legende zu der nebenstehenden Abbildung (Tafel 9)

Abb. 14: Schnitt E; Temperaturregistrierungen

Schwankungen gestört wird (Abb. 5, 6, 10). Wie bei Station B findet man auch hier eine bemerkenswert große Veränderlichkeit der kalten Zwischenschicht von 20 bis 70 m, wo man beim Übergang von einer Messung zur nächsten Abweichungen von $\pm 0,5^\circ$ C antreffen kann. Handelte es sich bei den bisher besprochenen Erscheinungen offenbar um nur statistisch erfäßbare Vorgänge, so liegen bei der Temperatursprungschicht in 10 bis 20 m Tiefe und bei der Inversion in 70 m Tiefe andere Verhältnisse vor. Wir finden eine außerordentlich starke Veränderlichkeit der Sprungschicht, die sich sowohl in einer im wesentlichen stetigen vertikalen Verschiebung als auch in einer Änderung des Temperaturgradienten und des Salzgehalts äußert. Es muß angesichts der Kürze der Stationsdauer dahingestellt bleiben, ob es sich bei der Verlagerung der Sprungschicht nach oben bis zu 8 m bei Messung Nr. 9 und nach unten bis zu 14 m bei Messung Nr. 16 und bei dem langsamen Wiederanstieg bis zu Messung Nr. 23 um das Auftreten einer internen Welle oder um eine direkt wetter- und tageszeitlich bedingte Änderung handelt. Aus dem gleichen Grund ist hier nicht zu klären, ob es sich bei der Verringerung des Gradienten in der Inversion bei 70 m Tiefe, die parallel zur nach unten gerichteten Verschiebung der Sprungschicht auftritt, um ein zufälliges Zusammentreffen handelt. Eine im 15min-Meßabstand über eine Dauer von mehreren Tagen durchgeführte Untersuchung würde voraussichtlich zu einer brauchbaren Aussage über die Verhältnisse führen.

Ein im allgemeinen zeitlich stetiges Verhalten der Temperaturschichtung, aber auch eine vielblättrige Struktur zeigen die Registrierungen von Station D (Abb. 7, 8, 12), die auf $55^\circ 18,5' \text{ N}$ und $15^\circ 18' \text{ E}$ (nordöstlich von Bornholm) am 11. 8. 60 von 1,25 bis 11,45 Uhr MEZ gewonnen wurden. Die hier bis zu einer Anzahl von sieben auftretenden warmen Zwischenschichten lassen sich nahezu alle über die Gesamtstationsdauer hin verfolgen, wobei sich die Temperaturdifferenz zur Umgebung um mehr als 1° C verschieben kann. Auch hier haben wir jedoch wieder die Erscheinung der thermischen Unruhe, die z. B. bei Messung Nr. 9 in 50 m Tiefe eine Abkühlung um $0,5^\circ \text{ C}$ hervorrufen kann.

Im Anschluß an diese Dauerstation wurde ein hydrographischer Schnitt von $55^\circ 18,5' \text{ N}$, $15^\circ 04,5' \text{ E}$ nach $54^\circ 28,5' \text{ N}$, $12,5' \text{ E}$ quer durch das Arkonabecken gelegt, um festzustellen, wie weit räumliche und zeitliche Änderungen zu trennen sind. Abb. 14 zeigt die Temperaturregistrierungen. Man erkennt rechts die letzte Messung der Station D, die gleichzeitig erste Messung des hydrographischen Schnittes ist. Die Abstände der 17° C -Eichlinien entsprechen dem räumlichen Abstand der Stationen, wobei im Mittel mit einem Stationsabstand von etwa 5 sm und einer Gesamtzeitdauer von 17 Stunden zu rechnen ist. Man erkennt aus dieser Darstellung sofort, daß die feineren Strukturen der Temperaturschichtung von Station zu Station so stark wechseln, daß keine Verbindung zwischen einzelnen Schichten mehr auffindbar ist. Sogar die Tiefenlage der Sprungschicht ist so raschen Schwankungen unterworfen, daß es wenig sinnvoll erscheint, ein Isothermenbild mit mehr als grober Annäherung an die Meßdaten zu geben. Es wurde daher auf diese Darstellung verzichtet und nur in Abb. 13 das wesentlich gleichmäßigere Isohalinenbild berücksichtigt. Es wird aus Abb. 14 deutlich, daß die räumlichen Änderungen in diesem Seegebiet offenbar die zeitlichen hinsichtlich ihrer Größe übertreffen, daß jedoch andererseits ein nur einige Genauigkeit beanspruchendes Bild ohne die Berücksichtigung der kurzzeitigen Variationen nicht zu gewinnen ist.

Literaturverzeichnis

DIETRICH, G. (1961): Eine Forschungsfahrt zur Untersuchung der kurzfristigen Schwankungen in der Schichtung und Bewegung der Ostsee im Sommer 1960. *Kieler Meeresf.* **17**. — HELA, I. und W. KRAUSS (1959): Zum Problem der starken Veränderlichkeit der Schichtungsverhältnisse im Arkona-Becken. *Kieler Meeresf.* **15**, 125—143. — HINKELMANN, H. (1956): Ein Gerät zur Schnellregistrierung des Druckes, der Temperatur und des Salzgehaltes für Anwendungen in der Ozeanographie. *Kieler Meeresf.* **12**, 200—201. — HINKELMANN, H. (1957): Gerät zur Schnellregistrierung in der Ozeanographie. *Z. f. angew. Physik* **9**, 505—513. — HINKELMANN, H. (1958): Ein Verfahren zur elektrodenlosen Messung der elektrischen Leitfähigkeit von Elektrolyten. *Z. f. angew. Physik* **10**, 500—503. — JACOB, O. E. (1961): Über die kurzfristige Veränderlichkeit in der Vertikalverteilung ausgewählter chemischer Faktoren in der östlichen und mittleren Ostsee im Sommer 1960. *Kieler Meeresf.* **17**. — KALLE, K. (1942): Über die innere thermische Unruhe des Meeres. *Ann. Hydrogr. u. marit. Meteorol.* **70**, 383—387. — KALLE, K. (1943): Die große Wasserumschichtung im Gotland-Tief vom Jahre 1933/34. *Ann. Hydrogr. u. marit. Meteorol.* **71**, 142—146. — KALLE, K. (1953): Zur Frage der inneren thermischen Unruhe des Meeres. *Dtsch. hydrogr. Z.* **6**, 145—170.